

Analyse und Bewertung von Demand Responsive Transportation und traditionellem Buslinienangebot

Eine Multi-Agenten Fallstudie über die ländlich geprägte sächsische Kleinstadt Colditz

14. ViMOS-Symposium Dresden 29.-30.11.2018

Clemens Schmidt

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kathrin Viergutz

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig



Wissen für Morgen



Gliederung

- I. Motivation
- II. Fragestellung
- III. Theorie
- IV. Methodik
- V. Fallstudie Colditz
- VI. Fazit
- VII. Verweise



I. Motivation

- 1) Analyse von ÖPNV-Mobilität in ländlichen Räumen.
- 2) Bearbeitung einer Fallstudie mit Praxispartner & realen Daten.
- 3) Kompetenzerwerb im Bereich agenten-basierter Modellierung, mikroskopischer Verkehrssimulation.



II. Fragestellung

Vergleich flexibel-nachfrageorientiertes Angebot (DRT) vs. starres Linienbusangebot:

*Ist es vor dem Hintergrund demografischer, ökologischer, räumlicher und wirtschaftlicher Aspekte erstrebenswerter für **ÖPNV-Kunden** bzw. -**Anbieter** und auch aus **gesamtgesellschaftlicher Sicht**, ein flexibel-nachfrageorientiertes Angebot (DRT) zu nutzen bzw. einzuführen?*



III. Theorie

- Geringe Einwohnerdichten & disperse Siedlungsstrukturen in ländlichen Räumen erschweren Planung von ÖPNV-Angeboten (Steinrück/Küpper 2010)
- Herausforderung Mobilitätssicherung – Umweltschutz – Wirtschaftlichkeit gleichermaßen zu gewährleisten (Riesner 2014)
- Demand Responsive Transportation (DRT) beschreibt haltestellen- und/oder fahrplanlose Mobilitätskonzepte (Lehnert et al. 2018)
- DRT beinhaltet App-basiertes Buchen & Bezahlen, Echtzeitdisposition inkl. Fahrgastinformation, Fahrtwunsch-Bündelung, Free-Floating, Einsatz von kleinen Fahrzeugen (Mehlert/Schiefelbusch 2017)
- Idealerweise Einsatz von autonomen Fahrzeugen (Nagel et al. 2018)

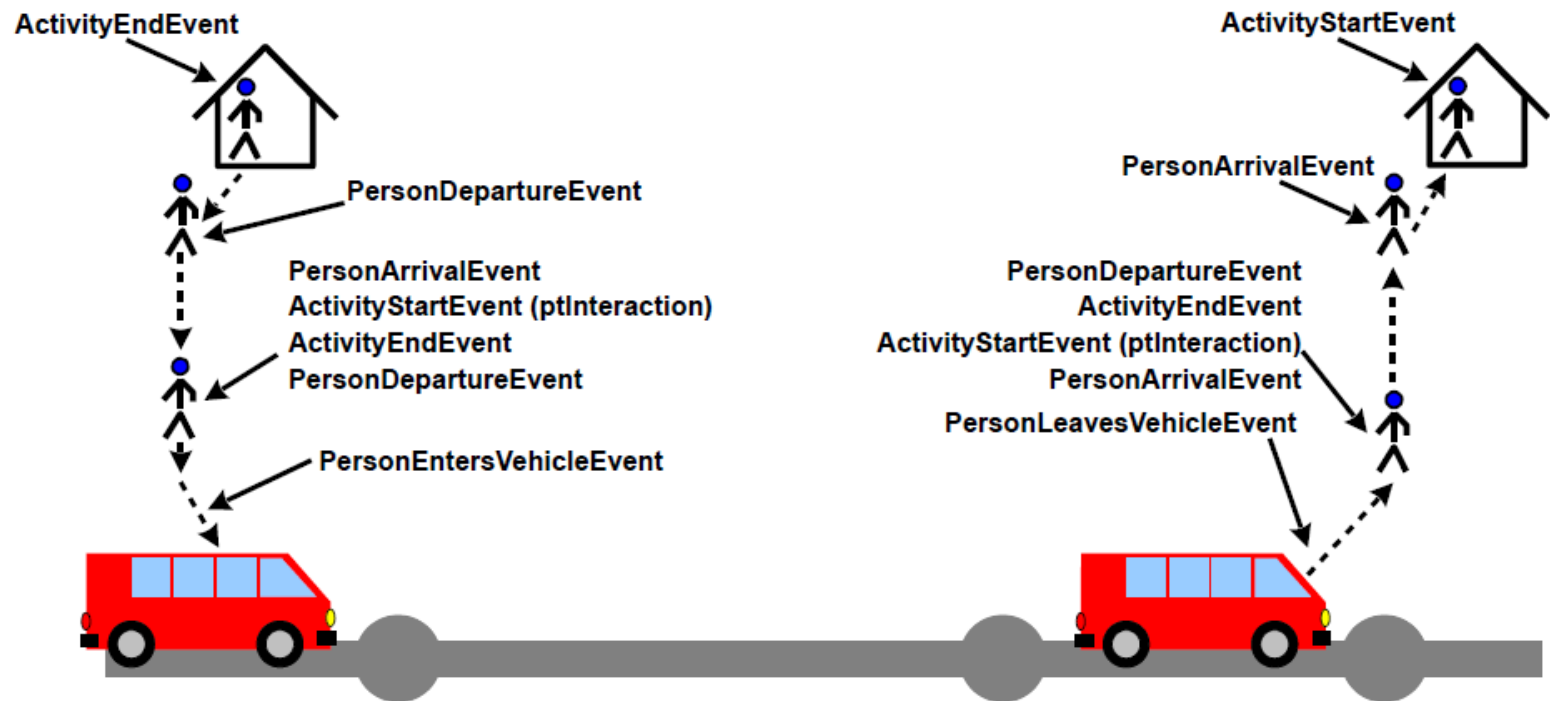


IV. Methodik

- Szenarioanalyse mit Hilfe agenten-basierter Modellierung (von Notten 2006)
- Agenten-basierte Modelle (ABM) sind „virtuelle Labore“ (Dibble 2006):
 - Agent = Mikroebene,
 - Population = Makroebene,
 - Raum = System
- Aktivitätsbasierte ABM-Software **Multi-Agent Transport Simulation (MATSim)**:
 - Iterativer Prozess; 24h Tag wird vom Agenten mehrfach (leicht) angepasst
 - Optimaler Tagesablauf via ökonometrischer Nutzenfunktion (Nagel et al. 2016)
 - Hagerstrands Zeitgeographie & Nash Gleichgewicht (Horni et al. 2009)



IV. Methodik



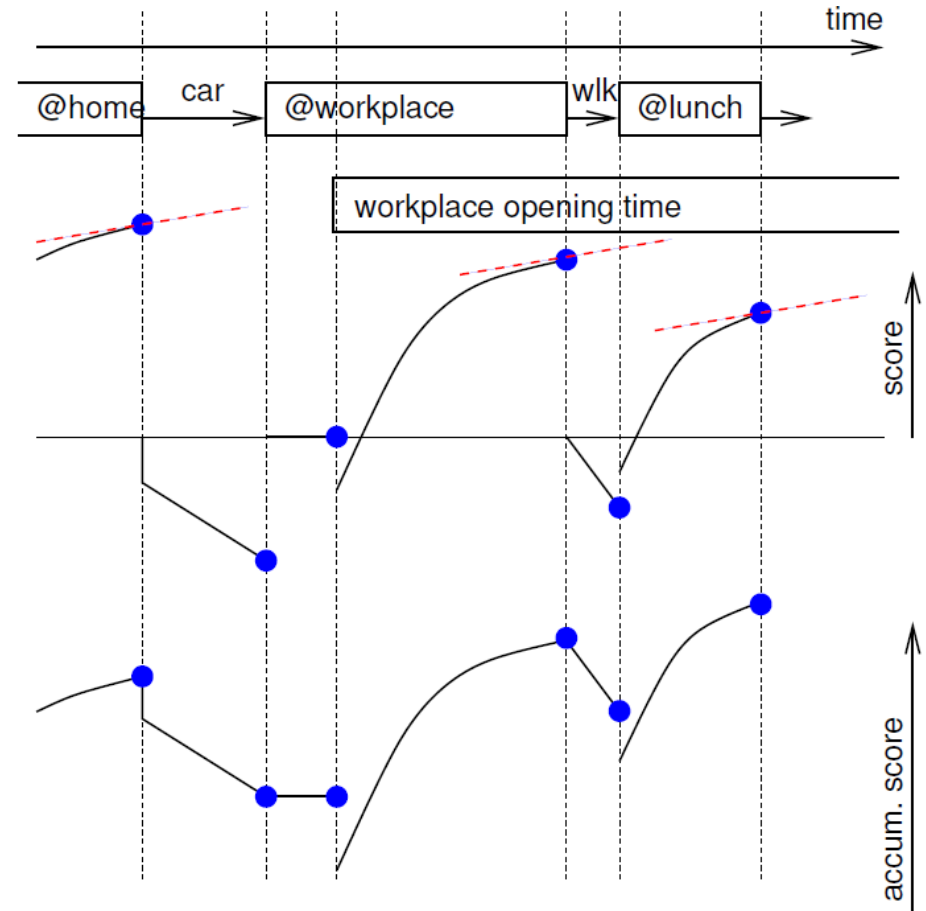
MATSim-Logik I: Aktivität 1 → Weg → Aktivität 2 → Weg ... (Horni et al. 2017, S. 46)



IV. Methodik

MATSim-Logik II: Gemäß der ökonometrischen Nutzenfunktion stiften Aktivitäten einen positiven Nutzen und Wege einen negativen Nutzen. Verspätungen werden mit Punktabzügen sanktioniert.

Die Grafik zeigt die Notenbildung jeder einzelnen Aktivität (oben) und des gesamten Tagesablaufes (unten). Die Noten werden über den Grenznutzen ermittelt, siehe rot gestrichelte Linien (Nagel et al. 2016, S. 27).



GTFS = General Transit Feed Specification
MiD = Mobilität in Deutschland
SrV = System repräsentativer Verkehrserhebungen
MDV = Mitteldeutscher Verkehrsverbund GmbH

V. Fallstudie

1) Infrastrukturdaten:

OpenStreetMap, Geoportal Landkreis Leipzig, Vereinsregister Colditz, Sächsische Firmendatenbank, GTFS-Datensatz des MDV, Informationen der Praxispartner & eigene Erhebungen vor Ort.

2) Bevölkerungsdaten:

Synthetische Bevölkerung (=Agenten/Population) mit soziodemografischen Attributen programmiert. Statistisch repräsentatives Abbild von Colditz mit Daten des Statistischen Landesamtes & der Bundesagentur für Arbeit.

3) Simulation des Mobilitätsverhaltens:

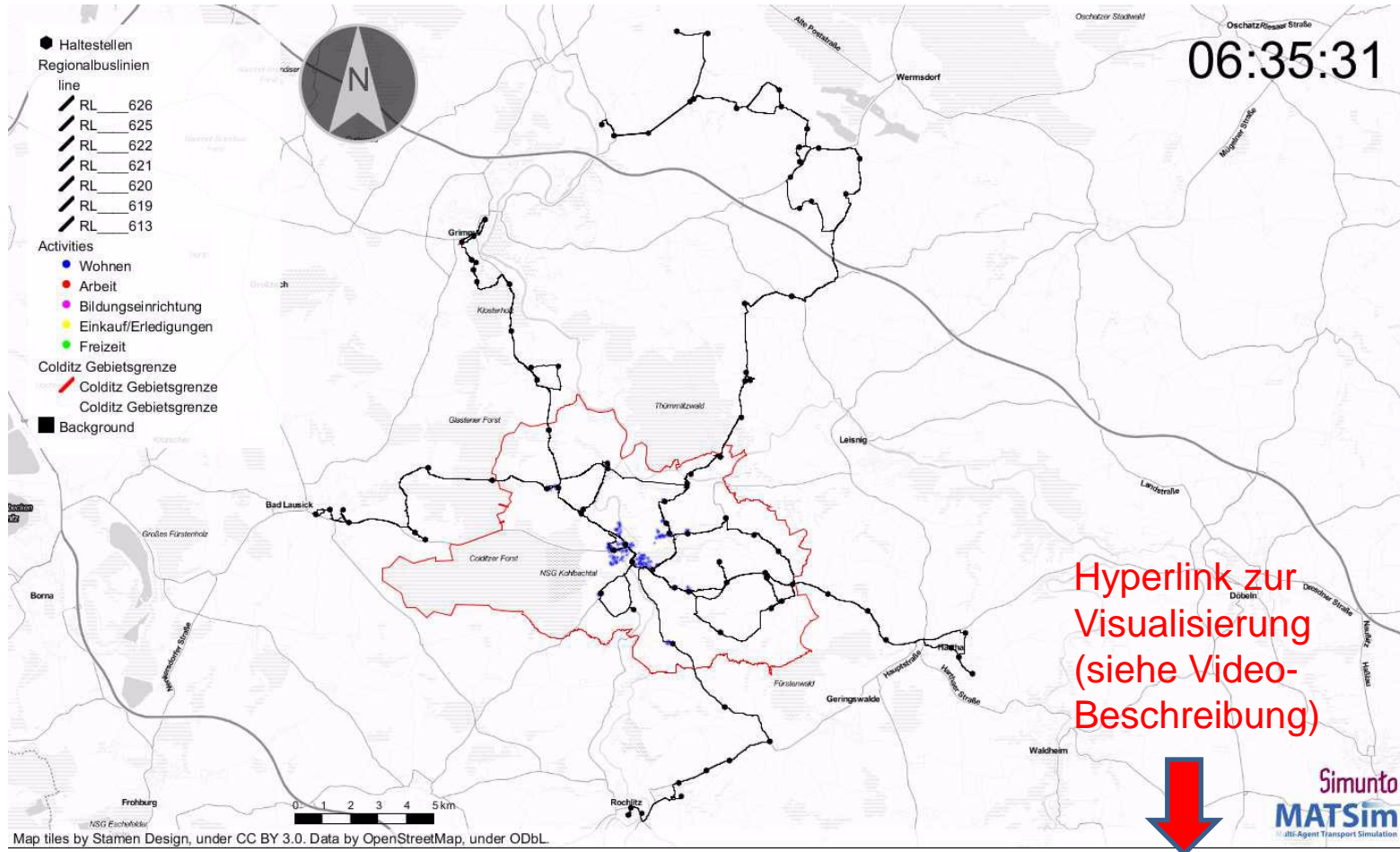
Mobilitätsverhalten simuliert mit MATSim auf Basis MiD 2010 und SrV 2013.

4) Validierung der Simulation:

Anhand Fahrgastzahlen der Praxispartner.

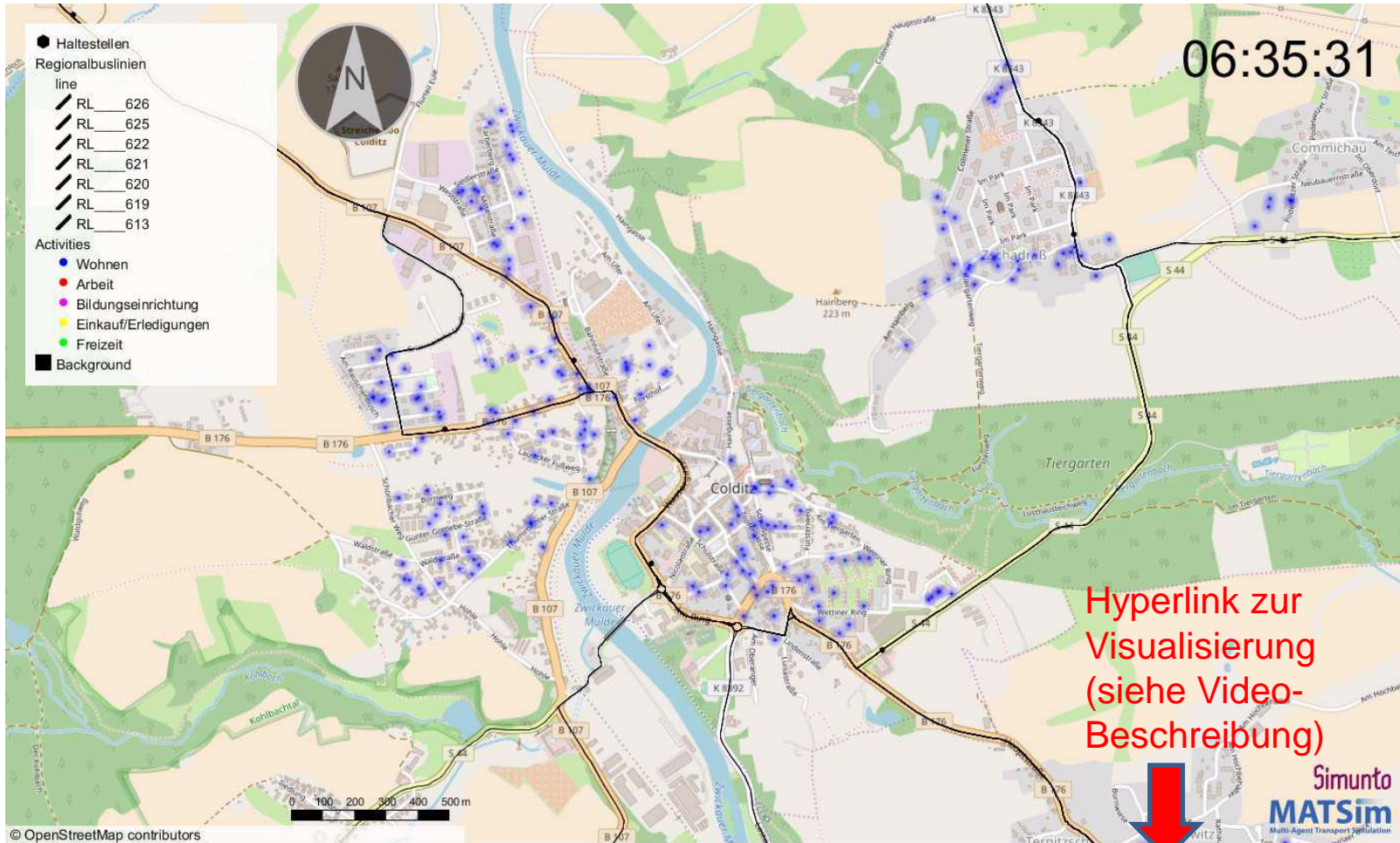


V. Fallstudie



Räumliche & zeitliche Verteilung aller 360 Agenten (4% Modal Split) und deren Aktivitäten.

V. Fallstudie



Räumliche & zeitliche Verteilung der Agenten bzw. Aktivitäten in Colditz & Zschadraß.



V. Fallstudie



Impression vom Obermarkt Colditz mit Schloss im Hintergrund. Foto: Clemens Schmidt



V. Fallstudie

Untersuchung von drei Szenarios (Simulationen) für Colditz

- 1) **Szenario:**
Feste, traditionelle Stadtbuslinie
- 2) **Szenario:**
DRT-Angebot in Form einer flexiblen Haltestellenbedienung
- 3) **Szenario:**
DRT-Angebot in Form einer flexiblen Haustürbedienung



t_r = Zeitrestriktion im Fahrzeug [min]
 α = Umwegfaktor
 β = max. zus. Zeit f. Umwege-, Warte-, Zu- und Ausstiegszeiten
 t_{direct}^r = direkte Einzelfahrt [min]
 t^{max} = Zeitrestriktion vor Fahrtbeginn [min]

V. Fallstudie

- Jeweils 100 Iterationen durchgeführt. Je Iteration ...
 - konnten 10% der Agenten ihre Zeiten innerhalb von 30min anpassen.
 - konnten 10% der Agenten ihre Routen anpassen.
 - haben 80% der Agenten ihren jeweils besten Plan ausgeführt.
- Agenten zu max. 600m ÖPNV-Fußwegen bereit.
- Gültige DRT-Simulationen nur wenn <5% Rückweisungsquote.
- DRT-Dispatch via Heuristik „Fahrzeug schnellstmöglich beim Kunden“ (Nagel et al. 2018, S. 5) und den Zeitrestriktionen der ...
 - Passagiere im Fahrzeug t_r mit $\alpha = 1,5$ und $\beta = 5\text{min}$ ($t_r = \alpha * t_{\text{direct}}^r + \beta$),
 - anfragenden Kunden t^{max} 30min (Haltestellenbasiert), 60min (Haustür).



V. Fallstudie

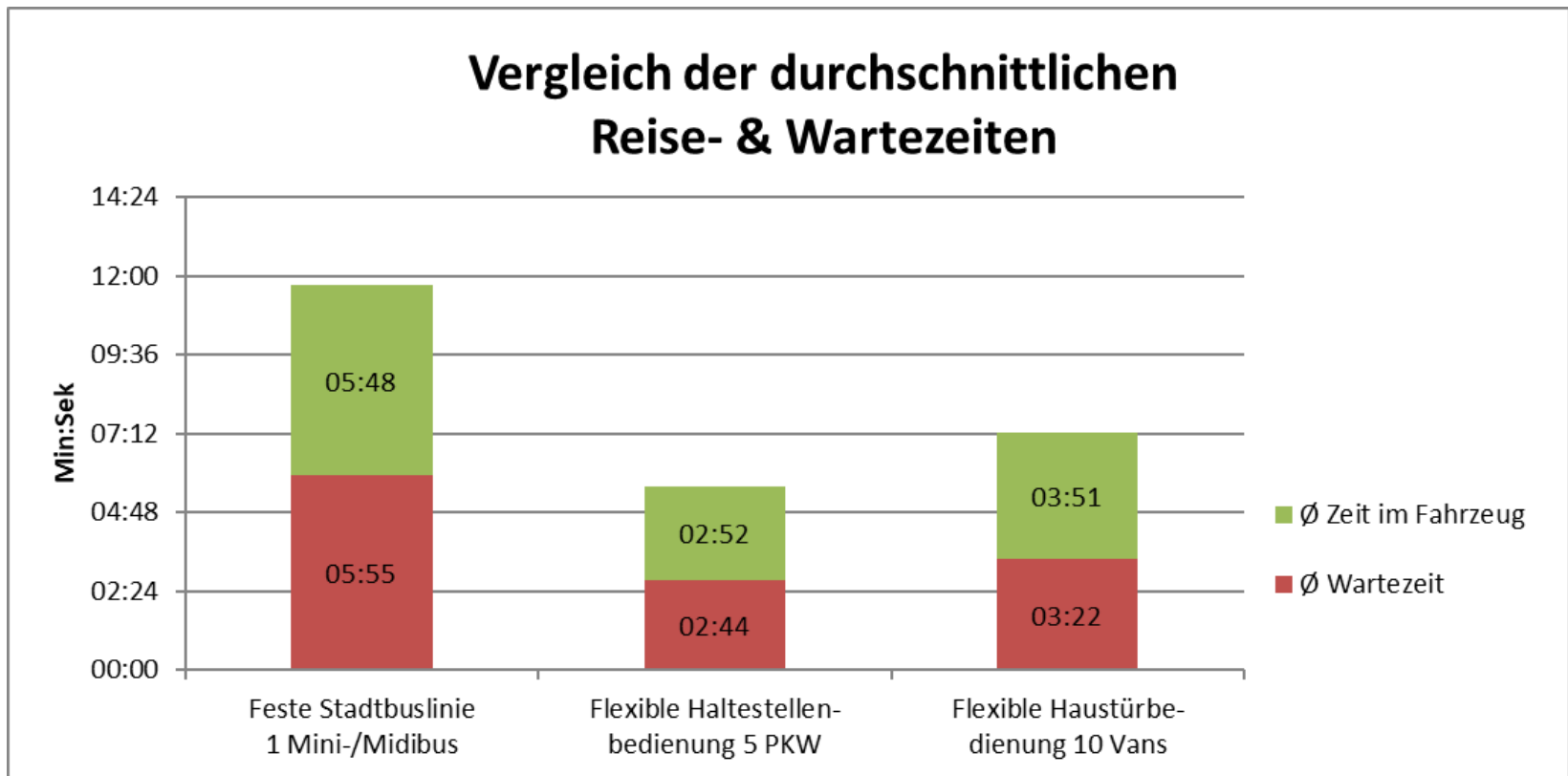
- Blickwinkel der ÖPNV-Betreiber

	Feste Stadtbuslinie	Flexible Haltestellenbedienung	Flexible Haustürbedienung
Fahrzeuge	1 Mini/Midibus mind. 12 Plätze	5 PKW mind. 4 Plätze	10 Vans/Kleinbusse mind. 6 Plätze
Fahrzeugkilometer	200	644	838
Beförderungsfälle	93	458	512
Agenten	59	206	215
Leerfahrten	51%	37%	34%



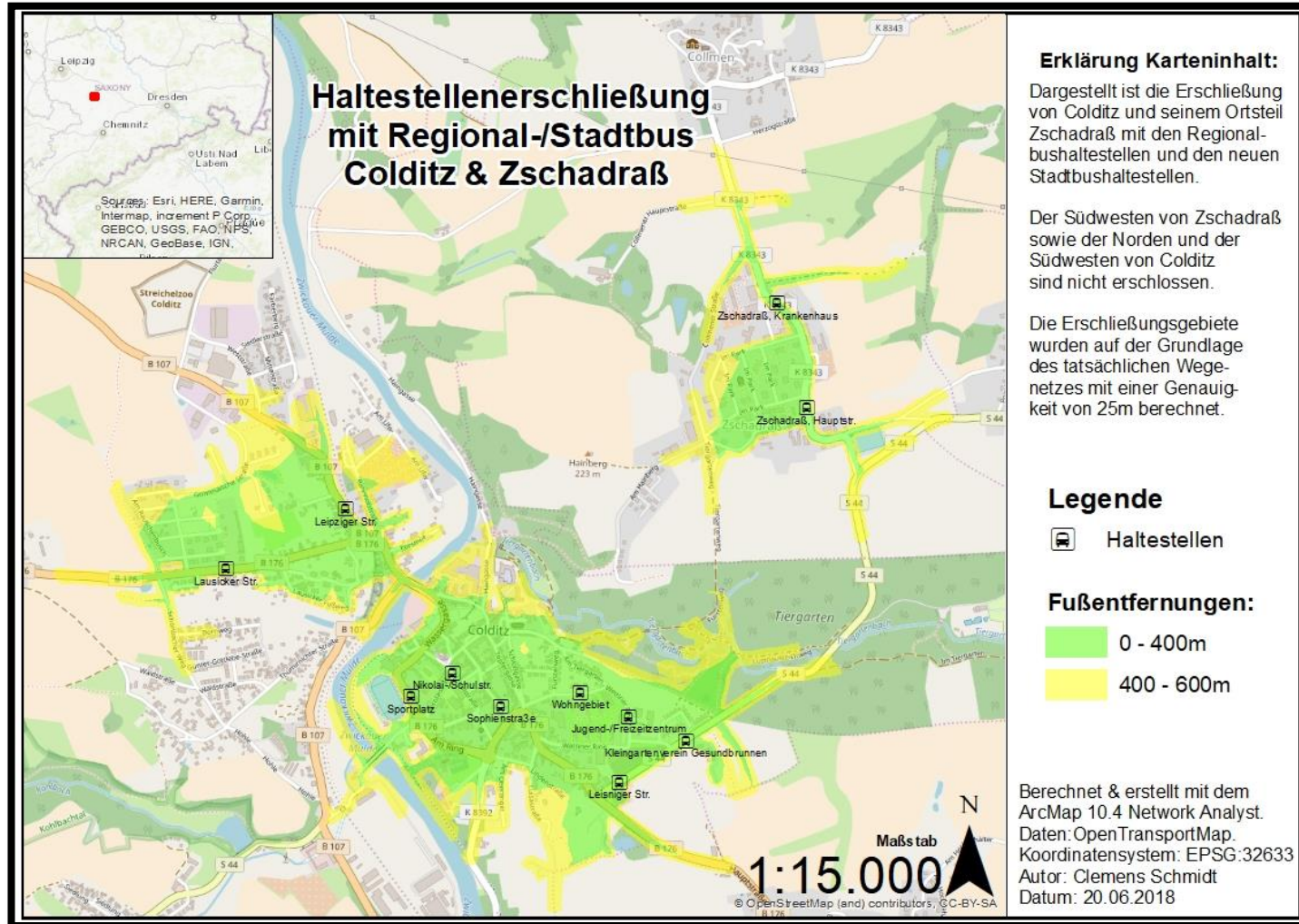
V. Fallstudie

- Blickwinkel der ÖPNV-nutzende Agenten (Kunden)



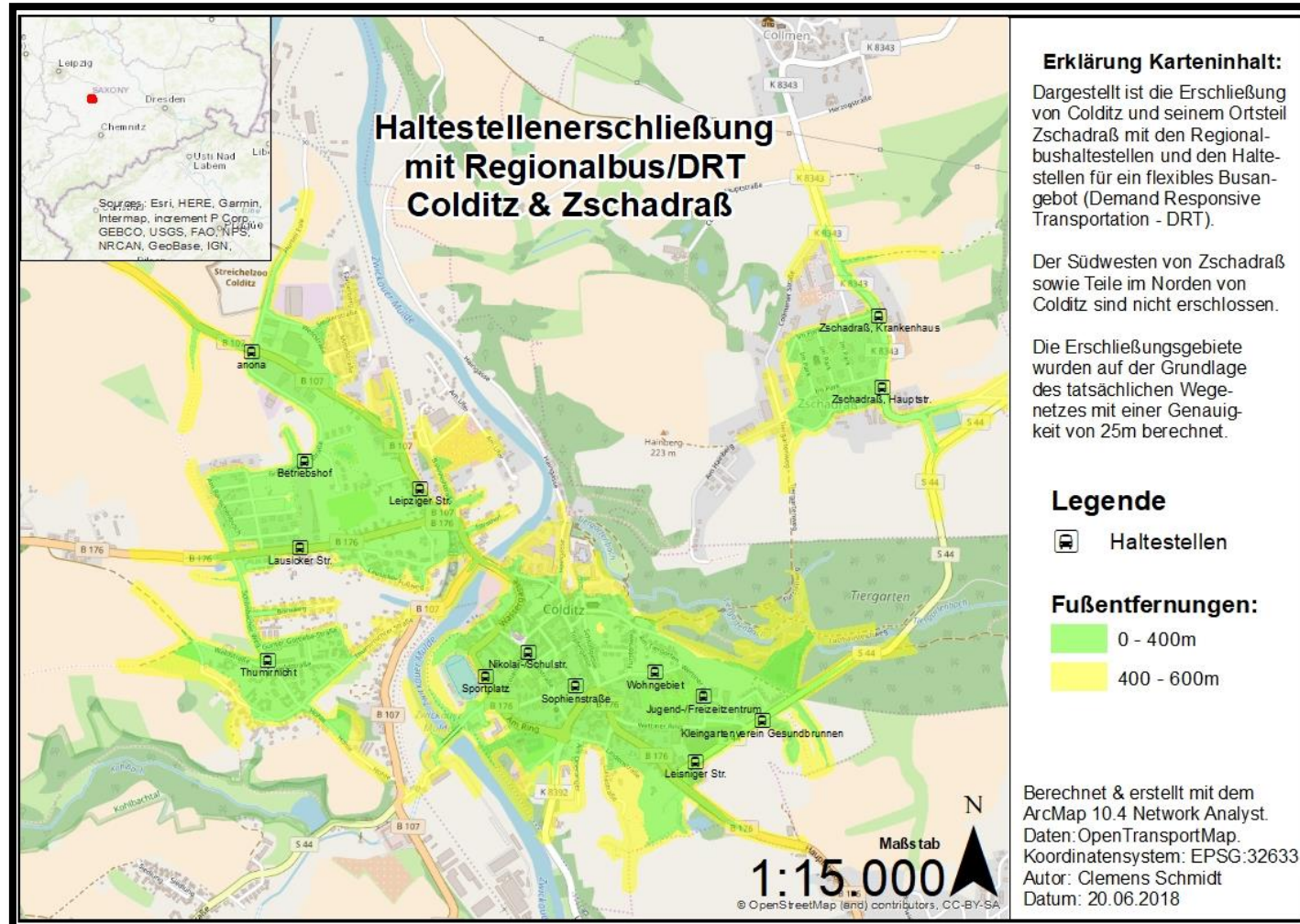
V. Fallstudie

- Gesamtgesellschaftliche Implikationen – Erschließung mit Stadtbuslinie



V. Fallstudie

- Gesamtgesellschaftliche Implikationen – Erschließung mit DRT (Haltestellen)



V. Fallstudie

- Gesamtgesellschaftliche Implikationen – Ökologie (kurzfristige Umsetzung)

	Feste Stadtbuslinie	Flexible Haltestellenbedienung	Flexible Haustürbedienung
Schadstoffe je Agent	11,2g	3,6g	3,4g
CO₂ je Agent	4.112,2g	476,9g	759,2g
Feinstaub je Agent	0,06g	0,01g	0,08g

Gemäß Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA). Quelle: Infrac 2018.



V. Fallstudie

(Kurzfristig orientierte) Hypothesen für die Colditzer Fallstudie:

- *Für die Colditzer **ÖPNV-Kunden** sind flexible und nachfrageorientierte Mobilitätsangebote deutlich attraktiver als ein fahrplangebundenes Angebot, da sie dadurch geringere Reise- und Wartezeiten während ihrer täglichen Wege erdulden müssen.*
- *Für den **ÖPNV-Anbieter** in Colditz ist das fahrplangebundene Mobilitätsangebot deutlich attraktiver als die Einrichtung eines flexiblen und kundenorientierten Angebotes, da hierbei die niedrigsten fixen (Personal-)Kosten anfallen.*
- *Aus **gesamtgesellschaftlicher Sicht** ist für Colditz ein flexibles, haltestellengebundenes Mobilitätsangebot erstrebenswert, da hier der beste Kompromiss aus räumlicher ÖPNV-Erschließung (der Voraussetzung für soziale, wirtschaftliche & politische Teilhabe von Menschen in den ländlichen Räumen ohne Zugang zu einem Automobil) und ökologischer Bilanz erreicht wird.*



VI. Fazit

- Ergebnisse bestätigen **Trends** aus MATSIM Studien in urbanen Räumen:
 - DRT-Haustürbedienung für ÖPNV-Kunden & -Anbieter nachteilig gegenüber der DRT-Haltestellenbedienung (Nagel et al. 2018).
 - Servicevorteile durch DRT-Angebote für ÖPNV-Kunden, aber Kostenvorteile für die Anbieter vermutlich nur unter Einsatz autonomer Fahrzeuge (Leich/Bischoff 2018).
- Ersatz des traditionellen Linienbusses durch DRT-Angebote in den ländlichen Räumen also nicht per se eine Erfolgsstrategie.
- Simulationsergebnisse von Praxispartnern nutzbar in Form einer probabilistischen Folgenabschätzung.



VII. Verweise

- Dibble, C. (2006). Computational Laboratories for Spatial Agent-Based Models. In *Handbook of computational economics* (Bd. 2, S. 1511–1548). doi: 10.1016/S1574-0021(05)02031-9
- Horni, A., Scott, D. M., Balmer, M. & Axhausen, K. W. (2009). Location Choice Modeling for Shopping and Leisure Activities with MATSim. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2135 (1), 87–95. Zugriff auf <https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/ivt/ivt-dam/vpl/reports/501-600/ab527.pdf>
- Horni, A., Nagel, K. & Axhausen, K. W. (2017). *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim. Extract of selected chapters to serve as user guide*. Zugriff auf <https://matsim.org/docs/userguide/>
- Infrac. (2018). *Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA) - Online Version*. Zugriff auf <http://www.hbefa.net/e/index.html>
- Lehnert, M., Liebchen, C., Melzer, K. M. & Viergutz, K. (2018). Ride-Sharing: Chancen und Regulierungskontext einer neuen Mobilitätsform. *Der Nahverkehr* (5), 6–12.
- Leich, G. & Bischoff, J. (2018). Should autonomous shared taxis replace buses? A simulation study. *Transportation Research Procedia*, 1–10. Zugriff auf <https://svn.vsp.tu-berlin.de/repos/public-svn/publications/vspwp/2018/18-05/LeichBischoff2018DRTLlastMileHeiligensee.pdf>
- Mehlert, C. & Schiefelbusch, M. (2017). Mobility on-demand: Disruption oder Hype? *Der Nahverkehr* (7+8), 6–12.
- Nagel, K., Kickhöfer, B., Horni, A. & Charypar, D. (2016). A Closer Look at Scoring. In *The multi-agent transport simulation matsim* (S. 23–34). doi: <http://dx.doi.org/10.5334/baw.3>
- Nagel, K., Bischoff, J., Leich, G. & Maciejewski, M. (2018). Simulationsbasierte Analyse der Wirkungen von Flotten autonomer Fahrzeuge auf städtischen Mikroskopische Simulation urbanen Verkehrs. *VSP Working Paper*, 06. Zugriff auf <https://svn.vsp.tu-berlin.de/repos/public-svn/publications/vspwp/2018/18-06/NagelEtcFlottenAutonomerFahrzeuge-2018-05-16.pdf>
- Riesner, A. (2014). Bedeutung und Förderung von Mobilität in ländlichen Räumen. *ZfV - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 139 (1), 41–49. Zugriff auf https://geodaesie.info/system/files/privat/zfv_2014_1_Riesner.pdf
- Steinrück, B. & Küpper, P. (2010). Mobilität in ländlichen Räumen unter besonderer Berücksichtigung bedarfsgesteuerter Bedienformen des ÖPNV. *Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie*, 2. Zugriff auf https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/bitv/dk043302.pdf.
- van Notten, P. (2006). Scenario development: a typology of approaches. *Schooling for Tomorrow: Think Scenarios, Rethink Education*, 6, 69–92. Zugriff auf <http://www.oecd.org/site/schoolingfortomorrowknowledgebase/futuresthinking/scenarios/37246431.pdf>



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Clemens Schmidt

Martin-Luther-Universität Halle-
Wittenberg

MAIL?

Kathrin Viergutz

Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt

Institut für Verkehrssystemtechnik

Kathrin.viergutz@dlr.de



Wissen für Morgen

